



TITLE:

Dynamical quantum effects in cluster dynamics of Fermi systems(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Ozaki, Junichi

CITATION:

Ozaki, Junichi. Dynamical quantum effects in cluster dynamics of Fermi systems. 京都大学, 2015, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18774>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2019-07-01に公開

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	尾崎 順一
論文題目	Dynamical quantum effects in cluster dynamics of Fermi systems (フェルミ粒子系の集団的ダイナミクスにおける動的量子効果)		
(論文内容の要旨)			
<p>実験室内で実現できる量子孤立系である冷却原子系は、現代物理における重要な研究領域の1つになっている。冷却原子系は温度がナノケルビンオーダーの希薄な原子ガスによって構成され、系のパラメタを自由に調節することができる。例えば光学格子と呼ばれる格子状のポテンシャルを入れたり、またフェッシュバッハ共鳴によって粒子間相互作用を広範囲にわたって変えたりすることができる。</p> <p>このような冷却原子系において、近年は非平衡ダイナミクスの研究が進んでいる。例えば量子クエンチと呼ばれる、平衡にあった系のパラメタを瞬間的に変化させ、その後の時間発展を追う、というダイナミクスがある。その範疇で、粒子集団の衝突・混合のダイナミクスなどが調べられてきた。尾崎氏はそのようなダイナミクスの中でも集団的な衝突・引きずりダイナミクスにおける量子効果（準古典近似と量子論の差）に注目し、その理論的な研究を行った。さらに量子クエンチを超えて、系のパラメタが実時間的に変動する系におけるダイナミクスの研究も行った。</p> <p>伝統的には量子非平衡ダイナミクスは理論的に扱いが難しい問題であったが、ここ十数年で、量子ダイナミクスを正確に数値的に扱える手法である密度行列繰り込み群と呼ばれる手法が発展した。尾崎氏はこの手法を本研究の対象とした冷却原子系に適用することで、信頼のおける数値シミュレーションを実行、以下の成果を得た。</p> <p>(I) 2つのフェルミ粒子集団の衝突ダイナミクスを、1次元上において密度行列繰り込み群を用いてシミュレートした。そして、相互作用の強い領域において粒子数に比例するような強い量子効果が見出した。尾崎氏は量子効果を取り入れた独立衝突モデルを提案することにより、シミュレーション結果をほぼ完全に再現することに成功するとともに、その量子効果の起源を完全に解明した。さらにそのモデルの応用として、衝突ダイナミクスにおける動的な量子効果についての重要な知見や新たな視点を得た。</p> <p>(II) 少数粒子からなるフェルミ粒子集団を、多数のフェルミ粒子集団の中で強制的に引きずった場合のダイナミクスを密度行列繰り込み群を用いて数値的に計算した。その結果、系の単位時間あたりのエネルギー上昇率が、多数粒子集団の高密度側で非自明なピークを持つことを明らかにした。そこで尾崎氏は平均場近似を基にした準古典的なモデルを提案し、シミュレーション結果と対比した。その結果、多数粒子集団が低密度の領域で数値計算結果を再現するのに対し、高密度側ではピークの説明が不可能であることを明らかにした。この結果に基づき尾崎氏はこのピーク構造は多体量子効果によるものであると結論し、引きずりダイナミクスにおける量子効果の現れるパラメタ領域を明確にした。また、この理論は冷却原子系における新奇な実験の提案にもなっており、そのような実験が行われた場合、高次元系においても系のエネルギー上昇率が非自明なピークを持つことを示唆するものである。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

近年、冷却原子系の非平衡ダイナミクスが精力的に研究されている。冷却原子系は実験室内で実現できる理想的な量子孤立系で、粒子に格子状のポテンシャルを与えたり、粒子間相互作用を調節したりすることができる系である。特に最近は、スピン依存のポテンシャルや実効的な局所磁場も実現可能になってきた。従って冷却原子系は量子シミュレータとして非常に有用であり、理論的なモデルハミルトニアンの研究に対して非常に強力な手法となった。このような背景の下、尾崎氏は以下の2つの研究を行った。

(I) 1次元上における2つのフェルミ粒子クラスターの衝突ダイナミクスについて、尾崎氏は相互作用の強い領域における準古典近似との差を明らかにし、その起源を明らかにするモデルを構築し完全に説明した。これらの系は特に高次元系においては完全な量子論的な取り扱いが難しい系であり、従って準古典的な近似の正当性を保証したり量子補正を入れたりすることは重要な課題であった。本研究は、その課題の解決において非常に重要な寄与をするものである。また、尾崎氏が構築したモデルによって、衝突ダイナミクスにおける新たな視点の開拓にもつながった。

(II) 1次元上において、フェルミ粒子クラスターをそれと相互作用する多数のフェルミ粒子の雲の中で強制的に引きずった場合のダイナミクスの研究を行い、尾崎氏は冷却原子系の全く新しい実験を提案した。さらに、外部の粒子密度が大きい領域における新奇な量子現象を発見した。また尾崎氏はこの系において量子効果の見積もりを行い、引きずりダイナミクスにおける平均場近似の適用できるパラメタ領域とその限界を明確に示し、実験の有効な解析方法についての一定の指針を示した。また、その指針はそのまま一般的な現象である高次元系での引きずりダイナミクスにも応用可能であると考えられる。

このように、本論文は現代物理学の主要テーマである量子非平衡ダイナミクスにおいて、準古典近似との対比という視点から量子効果の起源やパラメタ依存性を明らかにすることに成功し、この研究テーマに新しい視点をもたらした。博士論文公聴会においても、尾崎氏は入念に準備された発表を行い、質疑応答にも丁寧に答え、高い学識を有していることをアピールした。以上の事より、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月15日、論文内容とそれに関連した口頭試問を行い、その結果合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(本論文4章に該当する投稿済み論文が出版されるまでの期間)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 年 月 日以降